

GUILHERME HENRIQUE BORSATO AFONSO

MATRÍCULA: 20958777

**ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES DOS SISTEMAS
ESTRUTURAIS MISTOS AÇO-CONCRETO**

Brasília
2014

GUILHERME HENRIQUE BORSATO AFONSO

**ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES DOS SISTEMAS
ESTRUTURAIS MISTOS AÇO-CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como um dos requisitos para
a conclusão do curso de Engenharia Civil
do UniCEUB - Centro Universitário de
Brasília

Orientador: Eng.º Civil William Oliveira
Bessa, D.Sc.

Brasília

2014

GUILHERME HENRIQUE BORSATO AFONSO

**ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES DOS SISTEMAS
ESTRUTURAIS MISTOS AÇO-CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como um dos requisitos
para a conclusão do curso de
Engenharia Civil do UniCEUB -
Centro Universitário de Brasília

Orientador: Eng.^o Civil William
Oliveira Bessa, D.Sc.

Brasília, 13 de Junho de 2014.

Banca Examinadora

Eng.^o. Civil: Eng.^o Civil William Oliveira Bessa, D.Sc.
Orientador

Eng.^o. Civil: Jocinez Nogueira Lima, M.Sc.
Examinador Interno

Eng.^a. Civil: Nathaly Narváez, M.Sc.
Examinador Interno

Agradecimentos

À Deus, em primeiro lugar

À minha mãe que mesmo no Céu continua me guiando.

Ao meu pai que com sacrifício fez com que este sonho se tornasse realidade.

Ao meu irmão que sempre esteve ao meu lado.

Ao professor William Bessa, pela orientação e paciência.

À todos os amigos de sala que contribuíram por esses cinco anos de graduação.

Ao Vinícius Resende e Thalita Ramos pela paciência e ajuda na formatação.

RESUMO

O Brasil cada vez mais tem apresentado inovações em sistemas construtivos.

Em grande parte o sistema adotado é o concreto armado. Este trabalho apresenta uma abordagem sobre estruturas mistas de aço-concreto em edifícios e os elementos que compõem esse sistema. Os sistemas construtivos de estrutura de concreto armado e estrutura metálicas não devem rivalizar entre si e sim trabalhar em conjunto para que se tire melhor proveito de cada sistema. Serão abordadas as vantagens na utilização do sistema de estrutura metálica em obras da construção civil.

Palavras chaves: concreto armado, estruturas mistas, sistemas construtivos.

ABSTRACT

Brazil has increasingly presented innovations in building systems. The leading adopted system is reinforced concrete. This project presents an approach for composite structures of steel-concrete buildings and other elements that compose this organism. The reinforced construction and metal structured buildings should not compete among each other but instead work together in order to take advantage of each technique. Throughout this paper, the advantages in the use of metal frame system in construction fields will be exposed.

Key words: concrete, composite structures of steel-concrete, building systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de vigas mistas.....	28
Figura 2. Tipos de Conectores de cisalhamento	29
Figura 3. Laje mista.....	30
Figura 4. Dimensionamento de laje mista.	31
Figura 5. Fixação dos <i>studbolts</i>	32
Figura 6. Posicionamento da armadura positiva.	33
Figura 7. Início do lançamento de concreto	33
Figura 8. Tipos e classificação de pilares mistos.	35
Figura 9. Planta baixa do pavimento tipo.	38
Figura 10. Planta de forma do pavimento tipo.....	40
Figura 11. Planta de estrutura aporticada.	42
Figura 12. Consumo de Concreto	49
Figura 13. Consumo de aço em barras.	51
Figura 14. Consumo de aço em perfis.	51
Figura 15. Consumo de formas.	52
Figura 16. Custo total da estrutura.	55
Figura 17. Comparação de custos finais.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo de sistemas construtivos na administração da obra.....	17
Tabela 2. Comparativo de sistemas construtivos nas fundações.....	18
Tabela 3. Quadro comparativo com ênfase na superestrutura.....	19
Tabela 4. Quadro comparativo com ênfase nas vedações.	19
Tabela 5. Quadro comparativo com ênfase na execução de revestimentos.	20
Tabela 6. Quadro comparativo com ênfase em instalações.....	20
Tabela 7. Quadro comparativo com ênfase em prazos e custos.....	21
Tabela 8. Etapas e porcentagem em relação ao custo total.	23
Tabela 9. Pesos específicos e cargas.	39
Tabela 10. Consumo de materiais para estrutura convencional.....	41
Tabela 11. Ações consideradas para o dimensionamento.....	43
Tabela 12. Perfis metálicos	45
Tabela 13. Quantidade de aço consumida para pilares mistos	46
Tabela 14. Quantidade de aço consumida para vigas mistas.	47
Tabela 15. Consumo de materiais para estrutura convencional.....	48
Tabela 16. Consumo de Materiais para o dimensionamento em estrutura mista.....	48
Tabela 17. Custo do m ³ de concreto.	53
Tabela 18. Custo de barras de aço.	53
Tabela 19. Custo de perfis de aço.....	54
Tabela 20. Custo de forma.....	54
Tabela 21. Custo total da estrutura.	55
Tabela 22. Comparação de custos finais.	56

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
1.1 Considerações Iniciais.....	10
2. Objetivos.....	11
3. Revisão bibliográfica.....	12
3.1 Histórico da Utilização do Aço	12
3.2 Utilização do Aço no Brasil	13
3.3 Características de Estruturas Mistas e de Concreto Armado	13
3.4 Projetos Específicos: Estrutura, Fabricação e Montagem	21
3.5 Proteção Contra Incêndio	24
3.6 Sustentabilidade	25
4. Análise Estrutural	27
4.1 Vigas Mistas	27
4.1.1 Dimensionamento	28
4.2 Conectores de Cisalhamento	29
4.3 Laje Mista	29
4.3.1 Dimensionamento	30
4.4 Montagem e Fixação	31
4.5 Pilares Mistos	33
4.5.1 Tipos e Classificação de Pilares Mistos	34
4.5.2 Dimensionamento de Pilares Mistos	35
5. Estudo de Caso	37
5.1 Dados do Edifício Exemplo.....	37
5.2 Dimensionamento com Estrutura Convencional e Laje Maciça.....	40
5.3 Dimensionamento em Elementos Mistos de Aço e Concreto	41
5.4 Análise Comparativa entre o Sistema Convencional e o Sistema em Elementos Mistos de Aço e Concreto	48
5.4.1 Consumo de Concreto.....	49
5.4.2 Consumo de Aço em Barras e Perfis	50
5.4.3 Consumo de Formas	52
5.5 Custo da Estrutura.....	53
5.5.1 Custo da Estrutura – Concreto	53

5.5.2 Custo da Estrutura – Aço em Barras	53
5.5.3 Custo da Estrutura – Aço em Perfis	54
5.5.4 Custo da Estrutura – Forma	54
5.5.5 Custo da Estrutura – Steel Deck	54
5.5.6 Custo da Total da Estrutura.....	55
5.5.7 Comparação de Custos.....	56
6. Considerações Finais	58

1. Introdução

1.1 Considerações Iniciais

O surgimento da construção em elementos mistos de aço e concreto está fortemente ligada ao desenvolvimento do concreto armado e das estruturas em aço. Em construções mistas o concreto foi inicialmente utilizado como material de proteção contra corrosão e fogo, ignorando sua resistência em termos estruturais no momento do cálculo (ALVA, 2000).

O sistema construtivo em aço apresenta características significativas. Seções de pilares e vigas são mais esbeltas que as equivalentes em concreto armado, o que garante maior área útil, fator importante principalmente em garagens. A fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviço, com a consequente redução do prazo de execução. Alívio de cargas nas fundações, por serem mais leves as estruturas de aço podem reduzir substancialmente o custo das subestruturas.

Associando as qualidades construtivas do aço e do concreto, este sistema estrutural foi desenvolvido, formado por elementos mistos de aço e concreto. É um sistema estrutural relativamente novo, cujo o princípio é sua capacidade de destinar os esforços específicos para cada material, aproveitando suas propriedades.

Observa-se no Brasil a busca por novas tecnologias construtivas para torná-las cada vez mais eficientes, econômicas e sustentáveis. Apenas a partir da década de 1950, em São Paulo, os primeiros edifícios de múltiplos pavimentos em estrutura de aço foram executados. No final da década de 50 e início da década de 60, as primeiras construções mistas tiveram início. Limitavam-se a pequenas pontes e alguns edifícios.

2. Objetivos

Este Trabalho de Conclusão de Curso possui o objetivo de analisar as questões inerentes às estruturas mistas de aço/concreto, conceituando suas principais características em relação aos sistemas construtivos em concreto armado.

Para tal, foi desenvolvido uma análise crítica de um estudo comparativo de edificações de múltiplos pavimentos em concreto armado e misto aço/concreto, realizado por (SANTOS, 2010) com objetivos específicos de:

- Apresentar e analisar as considerações de cálculo utilizadas no estudo comparativo, e sua influência nos resultados.
- Atualizar os estudos de estimativa de custos realizados por (SANTOS, 2010), considerando base de preços atuais de mercado.

3. Revisão bibliográfica

3.1 Histórico da Utilização do Aço

Cerca de 6 mil anos a.C em civilizações como as do Egito, Babilônia e Índia, encontraram-se as primeiras evidências da obtenção do ferro para fins militares, ou como elemento estético de construções, pois era considerado um material nobre devido a sua raridade (BELLEI, 2008)

Com a revolução industrial ocorrida no século XIX, países desenvolvidos como Inglaterra, França e Alemanha começaram a utilizar o ferro em escala industrial.

As primeiras obras em aço são registradas no ano de 1750, quando se descobriu a maneira de produzi-lo industrialmente. Seu emprego industrial foi feito na França, por volta de 1780 na escadaria do Louvre e no Teatro Palais Royal. Na Inglaterra, em 1779, onde foi construída uma ponte de arco com elementos de ferro fundido, com vão simples de 42m (BELLEI, 2008).

A partir de 1851, tem-se o início da construção de grandes edifícios metálicos, como o Palácio de Cristal, em Londres. Em 1884 foi construído o TocamaBuilding, em Chicago, o primeiro edifício com ligações rebitadas o que resultava em maior rigidez nas estruturas metálicas, o que não era obtido com parafusos comuns (BELLEI, 2008).

Em 1885 houve um avanço tecnológico considerável. Vigas de ferro forjado foram substituídas por vigas laminadas de aço, produzidas pela primeira vez nos Estados Unidos. Após esse salto tecnológico, a coluna de ferro fundido caiu em desuso, assim como os perfis complexos de colunas compostas de perfis padronizados, laminados ou caixão.

Entre os anos de 1890 e 1930, países como França, Bélgica e Suíça desenvolveram as primeiras edificações de múltiplos andares em aço. Com o início da Primeira Guerra Mundial, as construções em aço se retraíram consideravelmente. Somente após a Segunda Guerra Mundial a arquitetura de sistemas estruturais em aço ganhou grande impulso.

No final do século XIX, a liderança na construção de edifícios em múltiplos andares em aço foi assumida por Nova York, nos Estados Unidos. Entre 1913 e 1941 foram construídos diversos arranha-céus em estrutura de aço, com número de pavimentos variando de 55 a 102, este último, o Empire State, sendo o mais alto do mundo por 40

anos. Outros dois edifícios se tornaram referência em estrutura de aço, o World Trade Center em Nova York e o Sears Tower, em Chicago.

3.2 Utilização do Aço no Brasil

Após o término da Primeira Guerra Mundial, durante a década de 20, o Brasil começou a desenvolver sua indústria siderúrgica com a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira.

No final do ano de 1945 foi criada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), com a finalidade de produzir chapas, trilhos e perfis nas bitolas americanas. Consolidando-se no mercado, entraram em operação, em 1960, a Usiminas e a Cosipa para produção de chapas.

Com o intuito de difundir a utilização do aço na construção civil, a CSN criou em 1953, como um de seus departamentos a Fábrica de Estruturas Metálicas (FEM), que iniciou a formação de mão-de-obra especializada e o ciclo de completo de produção das estruturas metálicas.

Nas décadas de 50 e 60, foram erguidos alguns edifícios de múltiplos andares em estrutura metálica, dentre os quais pode-se destacar:

- Edifício Garagem América – 16 pavimentos, fabricado pela FEM, em São Paulo;
- Edifício Avenida Central – 34 pavimentos, Rio de Janeiro;
- Edifício Escritório Central da CSN – 17 pavimentos, o primeiro executado com perfis soldados, Volta Redonda – RJ.

3.3 Características de Estruturas Mistas e de Concreto Armado

Muitas vezes a escolha do sistema estrutural de um edifício se dá por imposições arquitetônicas, porém cabe ao engenheiro de estruturas optar por alternativas que garantam maior economia e eficiência.

Atualmente os sistemas estruturais adotados são: em concreto, em aço, e em elementos mistos de aço e concreto.

O sistema estrutural predominante no Brasil ainda é o concreto por motivos técnicos, sociais, políticos e econômicos. As estruturas dos edifícios de múltiplos pavimentos são, em grande parte, de concreto armado ou protendido, moldadas *in loco* e pré moldadas.

Observa-se no Brasil uma tendência em aumentar o nível de industrialização na construção de edifícios. Estudos verificaram a viabilidade do aço, assim como os benefícios relacionados a escolha deste material. Apesar de o sistema de estrutural em aço estar em grande expansão no país, o sistema de concreto ainda é mais frequente.

A comparação entre sistemas de estruturas de concreto armado e as estruturas metálicas existe para cada tipo de construção, porém não deve existir uma mentalidade competitiva, e sim a intenção de se obter as vantagens de cada sistema. Concreto e aço são os materiais mais utilizados na construção civil. Possuem características distintas que, por sua vez proporcionam benefícios ao edifício em si. Com isso, surgem os sistemas estruturais misto de aço e concreto. Este sistema estrutural busca explorar as vantagens de cada material e direcioná-las em um único elemento, apresentando-se como uma solução competitiva para as novas construções.

As estruturas mistas são formadas pela associação de perfis de aço e concreto. O objetivo dessa combinação é que os dois materiais trabalhem juntos e resistam aos esforços solicitantes. O benefício do sistema misto é a possibilidade de aproveitar as melhores características de cada sistema em prol de maior eficiência na estrutura da edificação. Ademais, ressalta-se que a capacidade do aço de vencer grandes vãos e sua precisão milimétrica, associadas à rigidez do concreto e sua moldabilidade garantem a este sistema uma solução construtiva com ótimo desempenho.

As estruturas metálicas podem ser utilizadas em vários tipos de construções civis, industriais e viárias. Segundo (BELLEI, 2008) as principais vantagens das estruturas de aço em relação ao sistema de concreto armado são:

- Alta resistência do aço em relação a outros tipos de materiais.
- O aço é um material homogêneo de produção controlada.
- As estruturas são produzidas em fábricas por processos industrializados, favorecendo menores prazos.
- Os elementos das estruturas metálicas podem ser desmontados e substituídos com facilidade.
- A possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário a construção.
- Menor prazo de construção se comparado a outros materiais.

O aço é um material ecoeficiente em seu processo produtivo e 100% reciclável. O material pode ser utilizado em qualquer tipo de obra, do projeto mais simples até o mais elaborado (MATOS, 2013).

Pelos benefícios apresentados,(BELLEI, 2008) defende a substituição da estrutura de concreto armado por estruturas mistas. Isso altera significativamente todo o processo construtivo de uma edificação, como serão destacadas nos itens a seguir:

- **Menor Custo de Administração**

Devido ao reduzido do número de operários em canteiro, menor prazo de obra, e uma diminuição substancial dos gastos com retirada de entulhos.

- **Sustentabilidade**

Obras executadas em aço possuem menor impacto ao meio ambiente em termos de uso de energia, consumo de matérias primas, geração de detritos e de impactos no canteiro de obras, como a criação de resíduos, emissão de poeira, tráfego e ruídos sonoros.

- **Organização de Canteiro**

Devido à ausência de grandes depósitos de areia, cimento, brita, madeiras e ferragens, reduzindo as perdas por armazenagem e desperdícios.

- **Segurança**

O ambiente de obra limpo no canteiro, com a ausência de restos de ferragens, formas de concreto, pregos, oferece maior segurança ao trabalhador contribuindo para a redução de acidentes.

- **Economia nas Fundações**

Devido ao menor peso do edifício em aço, o esqueleto metálico pesa em média dez vezes menos que o de concreto, possibilitando uma redução do número de estacas por base e o emprego de vãos maiores.

- **Rapidez de Execução**

Pela possibilidade de realização de diversas atividades em obra, bem como um número maior de frentes de trabalho.

- **Maior Lucratividade do Investimento**

Como o prazo de execução de uma obra de estruturas metálicas é menor, há a possibilidade de dar maior giro ao capital investido. Por possuir elementos estruturais de menores dimensões, obtém-se maior área útil construída. Caso a arquitetura seja associada para edificações em estruturas metálicas, essas vantagens podem ser potencializadas.

Pela presença do concreto junto ao aço, o sistema estrutural misto possui ainda vantagens em relação ao sistema estrutural que utiliza apenas o aço. Menor consumo nos materiais de proteção a incêndio e corrosão. Nas estruturas mistas quando ocorre a substituição de parte da estrutura de aço pelo concreto, o concreto além de contribuir para redução das instabilidades locais do aço, favorece proteção contra incêndio e corrosão.

A produção dos perfis metálicos para estrutura é feita em siderúrgicas, com maior controle de qualidade durante todo o processo. Apenas a montagem é feita no canteiro de obra.

Tabela 1. Comparativo de sistemas construtivos na administração da obra.

Estruturas Metálicas	Concreto Armado
Administração da obra	
Execução em fábrica. Apenas montagem no canteiro.	Execução predominantemente em canteiro.
Grande precisão dimensional	Dificuldade na precisão dimensional.
Grande precisão quantitativa dos materiais.	Dificuldade de precisão de materiais. Maior possibilidade de perdas.
Menor quantidade de materiais (aço, parafusos, eletrodos, tintas).	Diversificação de materiais (cimento, areia, brita, água, formas de madeira, ferragens, aceleradores, etc.).
Qualidade e controle garantido pelas usinas.	Dificuldade de garantia de qualidade. Necessita maior controle.
Menor quantidade de funcionários na obra. Maior qualificação.	Maior quantidade de funcionários na obra. Baixa qualificação.
Diminuição de acidentes de trabalho.	Maior risco de acidentes de trabalho.
Canteiro eficiente: material chega à obra pronto para execução	Necessidade de maior área para armazenamento de materiais e manuseio.
Simplificação de canteiro: minimização do uso de formas, escoramentos	Canteiro mais completo, existência de escoramentos.
Economia de água	Maior consumo de água

Fonte: (<http://www.metalica.com.br/por-que-construir-com-estruturas-metalicas>)

Na Tabela 2 são apresentadas as diferenças entre os dois sistemas na etapa da fundação.

Tabela 2. Comparativo de sistemas construtivos nas fundações.

Estruturas Metálicas	Concreto Armado
Fundações	
Leveza estrutural.	Peso estrutural maior.
40 a 80 kg/ m ² em vigas e colunas.	250 a 350 kg/m ² em vigas e colunas.
Menores cargas nas bases.	Bases mais solicitadas.
Volumes de concreto menores nos blocos.	Maiores volumes.
Sistemas mais econômicos.	Sistemas mais onerosos.

Fonte: (<http://www.metallica.com.br/por-que-construir-com-estruturas-metallicas>)

Os sistemas estruturais em aço, mais leve se comparado ao concreto, proporciona uma menor carga nas fundações e conseqüentemente menores volumes nos blocos.

A rapidez de execução e a maior precisão nos níveis são as diferenças abordadas na Tabela 3.

Tabela 3. Quadro comparativo com ênfase na superestrutura.

Estruturas Metálicas	Concreto Armado
Lajes	
Formas podem ser apoiadas diretamente nas vigas.	Necessita maior escoramento para formas.
Grande rigor nos níveis.	Menor rigor nos níveis.
Liberação antecipada dos pavimentos para outros serviços.	Impossibilidade de execução de serviços enquanto houver escoramentos.
Maior velocidade na execução.	Velocidade depende do escoramento e o tempo de cura do concreto.
Escadas pré fabricadas.	Dificuldade e tempo maior para execução de formas para escadas.

Fonte: (<http://www.metalica.com.br/por-que-construir-com-estruturas-metalicas>)

Esquadros e prumos exatos na execução de alvenarias são algumas vantagens garantidas pela produção industrial dos perfis de aço, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4. Quadro comparativo com ênfase nas vedações.

Estruturas Metálicas	Concreto Armado
Paredes de alvenaria ou outros materiais	
Precisão milimétrica	Maior variação dimensional.
Qualidade na execução: esquadros e prumos exatos.	Irregularidade de prumos e esquadro, aumentando tempo e custo para regularização e enchimentos.
Sensível economia na mão de obra de execução.	Custo de execução mais oneroso em vista de má execução.

Fonte: (<http://www.metalica.com.br/por-que-construir-com-estruturas-metalicas>)

Com maior precisão nos níveis das lajes, esquadros e prumos exatos, o consumo de argamassa de regularização e revestimento é reduzido, garantindo economia nos custos da obra.

Tabela 5. Quadro comparativo com ênfase na execução de revestimentos.

Estruturas Metálicas	Concreto Armado
Revestimentos	
Precisão nos níveis de lajes e prumos exatos.	Necessidade de maior espessura de revestimento em lajes e paredes.
Facilita o uso de materiais pré fabricados (painéis, forros etc.)	Necessita aplicação de insertes e elementos de regulagem na fixação.

Fonte: (<http://www.metalica.com.br/por-que-construir-com-estruturas-metalicas>)

Na parte de instalações, vantagens são observadas em relação ao sistema em aço, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Quadro comparativo com ênfase em instalações.

Estruturas Metálicas	Concreto Armado
Instalações elétricas, hidráulicas, proteção contra incêndio e instalação de canteiro	
Pilares e vigas podem ser furados na fábrica.	Dificuldade de execução de furos em pilares e vigas.
Facilita a passagem de tubulações, permite alteração nas instalações na obra.	Impossibilidade de alteração após a execução da estrutura.
Necessita proteções contra incêndio sofisticadas.	Proteção contra incêndio simplificada.

Fonte: (<http://www.metalica.com.br/por-que-construir-com-estruturas-metalicas>)

Em relação a prazos e custos, o sistema em aço proporciona otimização do tempo, melhora na execução e economia.

Tabela 7. Quadro comparativo com ênfase em prazos e custos.

Estruturas Metálicas	Concreto Armado
Prazos e custo financeiro	
Simultaneidade de execução de estrutura e fundações.	Depende da finalização da fundação para início da execução da estrutura.
Avanços na montagem de 3 em 3 pavimentos.	Avanço de 1 em 1 pavimento.
Possibilidade de alvenarias acompanharem a montagem	Dificuldade de execução de alvenaria enquanto estrutura estiver escorada.
Prazos finais reduzidos e antecipação de utilização.	Maiores prazos aumentam os custos.
Retorno mais rápido.	Tempo de retorno mais longo.

Fonte: (<http://www.metalica.com.br/por-que-construir-com-estruturas-metalicas>)

3.4 Projetos Específicos: Estrutura, Fabricação e Montagem

Uma obra com estruturas metálicas é resultado de um sistema industrializado. Inicia-se no projeto arquitetônico, na construção civil, continua no projeto estrutural definitivo, passa pelo detalhamento do projeto, fabricação, limpeza e pintura. Em seguida pelo transporte, montagem e proteção contra incêndio (BELLEI, 2008).

A sequência a seguir mostra a integração das etapas para a produção das estruturas metálicas:

- Arquitetura - Onde é desenvolvido toda a concepção da obra, materiais de acabamento, dimensões, características de ventilação, iluminação etc. Uma arquitetura desenvolvida para o aço torna esse material mais competitivo, uma vez que se tira proveito da sua melhor resistência e menores dimensões das seções transversais dos perfis.
- Projeto estrutural - Onde se caracteriza o projeto arquitetônico, calculando os elementos de sustentação, tipos de ligações, escolha do perfil, carga nas fundações etc. Essa fase é uma das mais importantes da obra. Um projeto mal

elaborado causa prejuízo econômico ao construtor. Nesta fase é gerada uma lista dos materiais que serão utilizados no decorrer da obra, com uma previsão do peso total da estrutura.

- Detalhamento - Nessa etapa o projeto estrutural é detalhado peça por peça, dentro das recomendações de projeto, indicando o tipo de ligação, se parafusada ou soldada. Procura-se agrupar ao máximo as peças, dessa maneira o cronograma de fabricação e montagem é atendido. No detalhamento é fornecido projetos de montagem com posicionamento das peças na estrutura para orientação dos serviços de campo.
- Fornecimento e Fabricação - Inclui o levantamento de todos os materiais necessários para a confecção e fabricação das peças de acordo com os projetos de detalhamento.
- Limpeza e proteção - Nessa fase, as peças que vão compor a estrutura são preparadas para receber, quando necessário, proteção contra a corrosão. Após a limpeza, a estrutura deve ser pintada e, caso receba algum tipo de proteção contra fogo, como a utilização de argamassas especiais.
- Transporte - É importante, já na etapa inicial de projeto e detalhamento, prever o tamanho das peças, para evitar a utilização de transporte e máquinas especiais, que podem onerar os custos de uma obra.
- Proteção contra fogo - De acordo com o tipo de ocupação e altura da estrutura é feita uma verificação de acordo com as normas atuais e vigentes para saber se há necessidade de proteção passiva das estruturas à ação do fogo em caso de incêndio, e qual material deve ser adotado.

Fatores que influenciam os custos de uma obra:

Normalmente quando os custos de uma obra são levantados, utiliza-se o termo de custos por tonelada. Essa formulação é feita devido ao fato de o aço ser vendido por essa unidade de medida. Porém, de acordo com (BELLEI, 2008), vários outros fatores influenciam de maneira significativa nos custos finais de uma construção. A seguir serão abordados os fatores que influenciam os custos de uma obra no decorrer de suas etapas de construção:

- Sistema estrutural – Existe variação nos custos na seleção do sistema (por exemplo se a estrutura será totalmente aporticada ou contraventada, se a coluna será engastada ou rotulada etc.).

- Projeto dos elementos estruturais – Vigas de perfil de alma cheia, viga mista, treliça.
- Projeto e detalhes de ligações – Ligações a momento, com chapa de extremidade, com cantoneiras parafusadas.
- Processo de fabricação – Industrial e automatizado, soldado, parafusado.
- Sistema de proteção a corrosão – Tipo de limpeza e qualidade da tinta.
- Sistema de montagem – Utilização de guindastes ou outro tipo.
- Sistema e tempo de proteção passiva contra fogo – Utilização de argamassa ou tinta intumescente. Tempo de resistência ao fogo: trinta, sessenta, noventa, ou cento e vinte minutos.

Para otimização dos custos é importante a seleção de um eficiente sistema estrutural compatível com o processo de fabricação. Economia na fabricação e montagem é garantida com o resultado de ligações bem elaboradas durante a fase de detalhamento de projeto. Um dos fatores que tem grande influência nos custos fabricação e montagem é a especificação dos materiais. Nessa etapa é determinado a qualidade do material e as tolerâncias requeridas. Outro item que causa impacto significativo nos custos é a proteção contra a corrosão, podendo chegar até a 30% do valor da estrutura (BELLEI, 2008). Abaixo a Tabela 8 apresenta o custo de uma estrutura metálica:

Tabela 8. Etapas e porcentagem em relação ao custo total.

Projeto Estrutural	1% a 3% do custo total
Detalhamento	2% a 5% do custo total.
Material e Insumos	20% a 50% do custo total
Fabricação	20% a 40% do custo total
Limpeza e Pintura contra Corrosão	10% a 30% do custo total.
Transporte	1% a 3% do custo total.
Montagem	20% a 35% do custo total.
Proteção Passiva ao Fogo	8% a 15% do custo total.

Fonte: (BELLEI, 2008)

3.5 Proteção Contra Incêndio

Em um projeto de estrutura, seja de aço, concreto ou mista, vários recursos podem ser utilizados para aumentar a resistência ao fogo da edificação e à segurança de seus usuários. Para isso é importante o domínio das exigências normativas para obter soluções viáveis: técnica e financeiramente.

A princípio, é dever do engenheiro projetista avaliar se na obra em questão há necessidade de verificação das estruturas em situação de incêndio. Para isso, é imprescindível consultar a ABNT NBR 14.432:2000 “Exigências de resistência ao fogo dos elementos construídos das edificações- Procedimento” e as instruções do Corpo de Bombeiros local (PANNONI, 2013).

Quando a proteção contra incêndio se faz necessária, é preciso determinar o TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo). Para valores baixos de TRRF é possível que a própria estrutura de aço ofereça resistência mínima sem a necessidade de introduzir revestimentos contra fogo. Para TRRFs maiores, existe a necessidade de adicionar a estrutura algum tratamento contra fogo: isolante ou retardante (SILVA, 2010).

O aço quando exposto a altas temperaturas apresenta redução na resistência ao escoamento e redução no módulo de elasticidade podendo causar colapso da estrutura.

A publicação das normas brasileiras NBR 14323: 1999 – Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio e a NBR 14432: 2000 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, tem a finalidade de garantir a capacidade portante das estruturas, durante um determinado período de tempo previamente estabelecido, suficiente para viabilizar a desocupação das pessoas do interior da edificação assim como o acesso das equipes de segurança (MENDES, 2004).

Edifícios de grande porte devido a sua complexidade podem dificultar a evacuação rápida, provocando um eventual comprometimento da estrutura causado pelo incêndio, colocando em risco a vizinhança e a própria equipe de salvamento, exigindo maior rigor na segurança contra incêndio. Torna-se necessário, portanto, a verificação das estruturas, pois o aço, o concreto, a madeira, assim como outros elementos

estruturais tem redução na capacidade de carga quando submetidos a altas temperaturas(SILVA, 2010)

Outra finalidade na segurança contra incêndio em edificações é evitar as perdas patrimoniais. Considera-se perda patrimonial, aquela causada pela destruição parcial ou completa como consequência do fogo. Por meio de códigos e normas, são estipulados em projetos de arquitetura, hidráulico, elétrico e de estruturas, requisitos mínimos para proteção a vida e ao patrimônio.

Um sistema de segurança contra incêndio é composto por um conjunto de meios ativos e passivos de proteção.

Proteção passiva contra incêndio é um conjunto de medidas de proteção incorporadas à construção do edifício. Devem ser previstas e projetadas pelo arquiteto. Seu desempenho ao fogo independe de qualquer ação externa. Constituem ação passiva:

- Saídas de emergência – localização, quantidade e projeto;
- Reação ao fogo de materiais de acabamento e revestimento –os materiais para revestimento térmico devem possuir proteção térmica para altas temperaturas, mantendo sua integridade durante o incêndio. Os materiais mais utilizados são: argamassas projetadas, argamassas cimentícias, fibras projetadas, placas rígidas (gesso acartonado, lãs de rocha), e tintas intumescentes.

Os sistemas ativos de proteção contra incêndio são complementares ao sistema de proteção passiva, e somente entram em ação dependendo de um acionamento manual ou automático. São considerados meios ativos de proteção:

- Sistemas de detecção e alarme de incêndio;
- Extintores;
- Hidrantes;
- Sprinklers (chuveiros automáticos).

3.6 Sustentabilidade

As construções em aço, além de serem extremamente versáteis e duráveis, são compatíveis com os conceitos de desenvolvimento ambientalmente sustentável.

O ferro, elemento que constitui o aço, é um dos elementos mais abundantes no planeta. Durante seu processo de produção, é retirada uma molécula de oxigênio do

ferro, resultando em material homogêneo, sem qualquer substância nociva ao meio ambiente (LEMOINE, 2002).

De acordo com (LEMOINE, 2002), a produção de aço consome 50% menos energia que o produzido durante os anos 60. A energia de produção vem principalmente do carvão, combustível fóssil mais utilizado no mundo ou da eletricidade. O consumo de água na produção também foi reduzido, bem como a emissão de CO₂. Todos os gases residuais da produção do aço são reaproveitados para a produção de energia.

Os derivados da produção do aço são todos reutilizados. A escória resultante da produção de ferro gusa ou aço é aproveitado como material mineral para a construção de lastro de estradas e cimento.

O aço é 100% reciclável. É possível reciclar o aço indefinidamente sem que nenhuma de suas qualidades sejam perdidas ou minimizadas. Segundo (LEMOINE, 2002), mais da metade do aço utilizado União Europeia e 40% da produção mundial de aço é proveniente de aço reciclado. Este panorama evolui a cada ano, preservando recursos e o meio ambiente. Por apresentar propriedades magnéticas, o aço é separado de detritos e entulhos tornando um dos materiais mais reciclados do mundo.

Uma construção em aço economiza cerca de 41% no consumo de água quando comparada a uma construção apenas em concreto armado (LEMOINE, 2002).

As edificações em aço são facilmente desmontáveis, de maneira segura e limpa, permitindo seu despojo seletivo. Com a simplicidade das ligações, soldadas ou parafusadas, a demolição torna-se mais rápida, reduzindo o nível de ruídos, poeira e outros aspectos adversos ao meio ambiente.

4. Análise Estrutural

Este item relata sobre o comportamento e o dimensionamento de elementos mistos que compõe esse sistema estrutural.

4.1 Vigas Mistas

Vigas mistas são definidas pela NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios - como um sistema composto por um componente de aço que suporta uma laje de concreto ligada por conectores de cisalhamento. São consideradas vigas mistas, perfis metálicos de seção “I”, tubulares e seções caixão. Abaixo estão duas figuras ilustrando os tipos de vigas mistas mais utilizados.

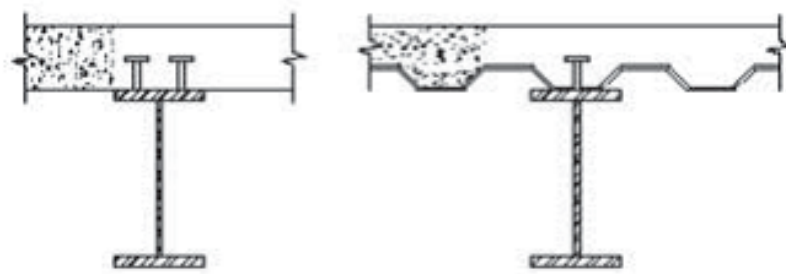
Nas edificações, as vigas de aço que suportam as lajes de concreto podem ser projetadas de forma independente, resistindo às solicitações, sem considerar as interações do aço-concreto. Entretanto, como a maioria das vigas está submetida a momentos positivos (mesa superior comprimida), e as lajes de concreto de grande resistência à compressão apoiam-se na mesa superior das vigas. A colocação de conectores para a transmissão do fluxo de cisalhamento entre o sistema laje-viga, desenvolvido durante a flexão, faz com que a laje trabalhe junto com a viga de aço, formando um sistema misto, garantido um expressivo aumento da inércia (BELLEI, 2008).

As vigas mistas são deste modo, uma importante alternativa que deve ser empregada em edificações onde o tipo de laje adotada é adequado para parte resistente da seção da viga.

Uma vantagem importante na utilização de vigas mistas em sistemas de pisos é o acréscimo de resistência e de rigidez propiciados pela combinação dos elementos de aço e de concreto, o que possibilita a redução da altura dos elementos estruturais, resultando em economia de material.

Na Figura 1 são apresentados os tipos usuais de vigas mistas. A figura ilustra uma laje com face inferior plana, ligada por um conector *stud bolt* uma viga de I de aço. O exemplo a direita ilustra o detalhe da ligação de uma laje com forma de aço incorporada a uma viga tipo I.

Figura 1. Tipos de vigas mistas



Fonte: (MALITE, 1990)

4.1.1 Dimensionamento

Quanto ao dimensionamento de vigas mistas, devem ser considerados os estados limites. Em construções não escoradas, antes da cura do concreto submetida ao peso próprio dos materiais, concreto fresco, sobrecarga construtiva, operários e equipamentos.

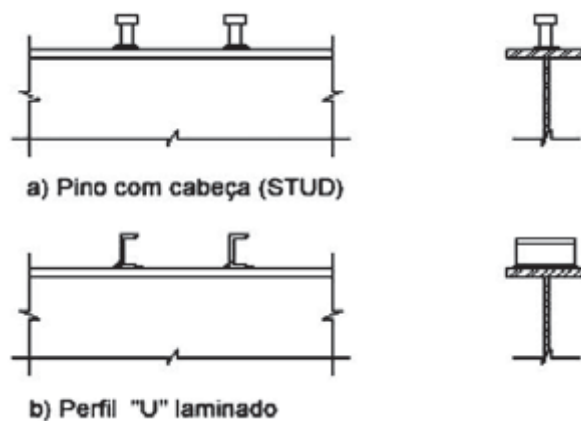
- A viga de aço isolada deve ser verificada a flexão segundo as recomendações da NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- Flecha da viga mista de aço que será uma parcela da deformação total da viga mista;
- Após o concreto atingir $0,75f_{ck}$, submetida às ações de cálculo atuantes no pavimento;
- Flexão da viga mista e cisalhamento da viga de aço. O procedimento de verificação depende da posição da linha neutra na seção transversal da viga mista - passando pela alma, pela mesa do perfil de aço ou pelo concreto;
- Tensão na mesa inferior da viga de aço;
- Flecha, utilizando a inércia da seção transformada, somada à flecha residual da viga de aço.
- Caso a construção seja escorada, as verificações são necessárias apenas após a cura do concreto.

4.2 Conectores de Cisalhamento

Os conectores realizam a ligação entre o elemento de aço e a laje de concreto. Tem a função de absorver os esforços de cisalhamento e impedir o afastamento vertical entre a viga de aço e a laje de concreto (ALVA, 2000).

Classificam-se em conectores rígidos e flexíveis. A rigidez está relacionada com a capacidade de restrição ao escorregamento entre o sistema viga de aço – laje de concreto. Dentre os conectores flexíveis, o mais utilizado é o tipo pino com cabeça, também conhecido como *stud bolt* (Figura 2.a). Esse conector é de simples fabricação, utilizando o processo de solda semiautomático. Outros conectores também utilizados são os de chapas dobradas (formados a frio), perfil “U” (Figura 2.b) e tipo cantoneira. De acordo com ensaios padronizados do tipo *push out*, em modelos semelhantes aos internacionais, (MALITE, 1990), conclui que a espessura da chapa é o fator que mais influencia na resistência da conexão. Ambos os conectores são soldados ao perfil de aço.

Figura 2. Tipos de Conectores de cisalhamento



Fonte: (ALVA, 2000)

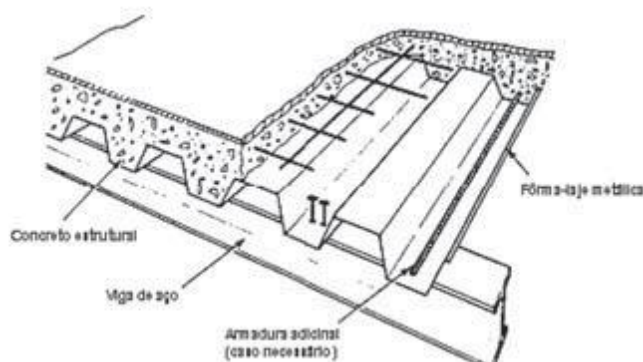
4.3 Laje Mista

O sistema de laje mista consiste na utilização de uma forma permanente nervurada de aço, como suporte para o concreto antes da cura e da atuação das cargas de utilização. É possível que forma de aço nervurada incorporada ao concreto substitua a armadura positiva da laje. Com o processo de cura do concreto, os dois

materiais, forma de aço e concreto, solidarizam-se estruturalmente, constituindo o sistema misto.

As formas de aço desempenham diversas funções e apresentam vantagens significativas em relação as lajes de concreto convencionais. Suportam os carregamentos da estrutura, funcionam como plataformas de trabalho, contraventam a estrutura, funcionando como diafragmas, distribuem as deformações por retração, evitam a fissuração excessiva do concreto e trazem a possibilidade de dispensa do escoramento da laje(SALÉS, 1995).

Figura 3. Laje mista

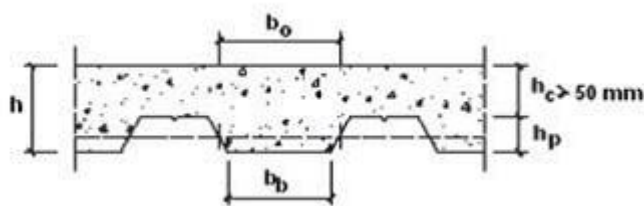


Fonte: (SALÉS, 1995)

4.3.1 Dimensionamento

Em relação ao dimensionamento, a altura h (Figura 4) deve ser maior ou igual a 90mm e a espessura (h_c) do concreto sobre a forma deve ser maior que 50mm. Devido à escassez de fabricantes de formas de aço incorporadas ao concreto, há pequena variedade de perfis, portanto as alturas médias estimadas são de 120mm a 150mm. As armaduras de distribuição e de combate a retração devem ser posicionadas a uma distância mínima de 20mm do topo da laje, com área mínima equivalente a 0,1% da área de concreto acima da forma.

Figura 4. Dimensionamento de laje mista.



Fonte: (SALÉS, 1995)

É necessário considerar os seguintes estados limites: Antes da cura do concreto submetida ao peso próprio da forma, do concreto fresco e sobrecarga mínima de 1,0kN/m² ou 2,2kN/m² perpendicular às nervuras:

- Flexão e cisalhamento vertical da forma de aço segundo as recomendações de resistência da NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- Flecha da forma limitada a 20mm ou vão/180.
- Após a cura do concreto submetido às ações de cálculo atuantes no pavimento:
- Área de forma de aço como armadura positiva resistente ao momento fletor. Caso necessário, utilizar armadura adicional;
- Cisalhamento longitudinal na interface dos materiais, dependente da aderência entre eles;
- Cisalhamento vertical e punção para cargas concentradas;
- Flecha da forma limitada ao vão/350;
- Deslizamento relativo da extremidade e fissuração excessiva no concreto segundo as recomendações da NBR 6118:2007 – Projetos de estrutura de concreto – Procedimento.

4.4 Montagem e Fixação

Concluída a montagem das vigas de aço da estrutura, pode-se prosseguir com a instalação dos painéis das formas de aço e seus acessórios. Para tanto, é necessário que algumas etapas sejam atendidas:

- Nivelamento preciso da mesa superior da viga de aço, de modo a obter um perfeito contato entre o sistema forma-viga;

- Limpeza e remoção de áreas oxidadas, respingos de solda, e oleosidades em geral;

Após as conferências necessárias, os painéis de forma são posicionados sobre as vigas. É comum a necessidade de recortes e ajustes na forma nos cantos e contornos de pilares, a fim de se adaptar à geometria da construção.

Uma vez realizados todos os ajustes e o alinhamento, os painéis posicionados devem ser fixados junto ao vigamento da estrutura por meio de solda bujão ou solda tampão.

Finalizada a montagem da forma de aço, os conectores de cisalhamento, *stud bolts* ou perfis “U” laminados, são soldados ao vigamento através da forma de aço.

Figura 5. Fixação dos *stud bolts*



Fonte: (VASCONCELLOS, 2006)

Após a conclusão das etapas de montagem, fixação da forma e instalação dos conectores de cisalhamento, pode-se dar início a execução das armaduras positivas adicionais da laje, caso necessário, e iniciar o lançamento de concreto. Abaixo, figuras ilustram as etapas descritas.

Figura 6. Posicionamento da armadura positiva.



Fonte: (VASCONCELLOS, 2006)

Figura 7. Início do lançamento de concreto



Fonte: (VASCONCELLOS, 2006)

4.5 Pilares Mistos

Os pilares mistos de aço e concreto são definidos como elementos que estão sujeitos predominantemente à compressão simples ou composta, e são formados pela combinação de um ou mais perfis de aço estrutural passível de revestimento ou preenchimento de concreto (SALÉS, 1995).

O sistema misto apresenta grandes vantagens estruturais, uma vez que herda a capacidade resistente dos pilares de aço e a robustez dos pilares de concreto. A ABNT NBR 8800:2008, apresenta dois modelos de cálculo simplificados para o dimensionamento de pilares mistos com seções transversais simétricas, com base em duas normas internacionais. O primeiro, o Modelo I, com base no AISC 360 (2005) e

o segundo, o Modelo II, no Eurocode 4 (2004). A escolha do método a ser utilizado fica a critério do engenheiro de estruturas.

A associação dos dois materiais propicia um aumento da resistência e também proteção contra incêndio e corrosão.

Pilares de aço revestidos ou preenchidos com concreto apresentam vantagens tanto em estruturas de pequeno porte quanto em edifícios de múltiplos pavimentos. O emprego de pilares mistos é variado, sendo possível utilizá-los em diversos sistemas estruturais.

Outra aplicação importante dos pilares mistos é na recuperação e reforços de estruturas. Caso um pilar de aço necessite ser reforçado, o revestimento de concreto resulta em um significativo ganho de resistência, enrijecendo o pilar. Também é possível reforçar a estrutura de um pilar formado por concreto armado com a incorporação de perfis ou chapas de aço. Diferentemente do reforço com o próprio concreto armado, a utilização de perfis e chapas de aço não acarreta no aumento significativo da seção do pilar, causando menor impacto na arquitetura do edifício (FIGUEIREDO, 1998).

4.5.1 Tipos e Classificação de Pilares Mistos

Pilares mistos são classificados de acordo com a disposição do concreto na seção mista: pilares preenchidos, revestidos e parcialmente revestidos.

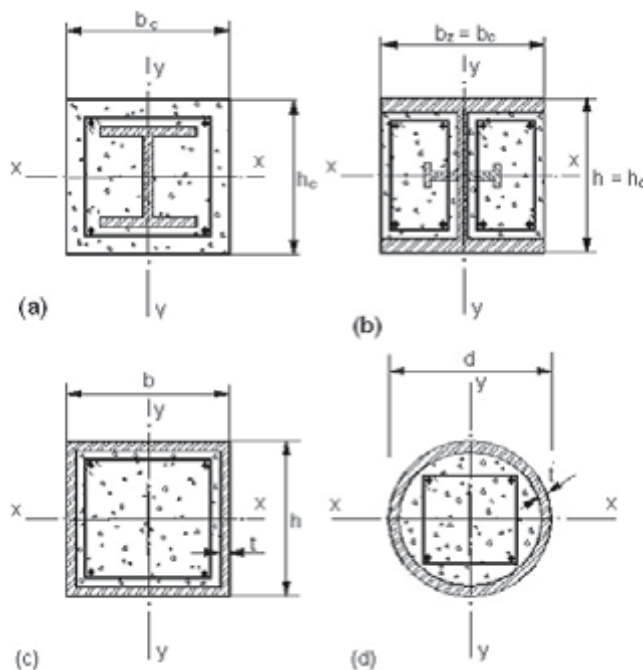
Pilares preenchidos são constituídos por perfis metálicos tubulares, normalmente circulares ou retangulares (Figura 8.c e Figura 8.d) preenchidos no seu interior com concreto. Neste tipo de pilar misto não há necessidade de formas, já que o próprio perfil exerce esta função. Dependendo da solicitação e cargas atuantes é necessária a presença de armadura longitudinal no concreto.

Pilares revestidos são perfis de aço que são totalmente ou parcialmente revestidos pelo concreto. Os pilares parcialmente revestidos (Figura 8.b) são caracterizados pelo não envolvimento completo da seção metálica. É obrigatória a presença de armadura longitudinal no interior do concreto. Apesar de ambos os pilares revestidos resultarem em um elemento com maior resistência a compressão, o pilar parcialmente revestido carece de proteção contra fogo e corrosão.

Nos pilares totalmente revestidos (Figura 8.a), há a necessidade da utilização de formas, o que pode se tornar um inconveniente em determinadas obras por ser o pilar

misto de maior dificuldade de execução. O pilar parcialmente revestido pode ou não dispensar a utilização de formas, já que é possível pré-fabricar este elemento, concretando-o horizontalmente.

Figura 8. Tipos e classificação de pilares mistos.



Fonte: (VASCONCELLOS, 2006)

A associação de aço e concreto em pilares mistos tornam elementos com seções menores e mais esbeltos quando comparados aos pilares de concreto armado.

4.5.2 Dimensionamento de Pilares Mistos

Segundo a NBR 14323:2013, com base no método dos estados-limites, estabelece os requisitos para o projeto das estruturas de aço e das estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio de edificações cobertas pelas ABNT NBR 8800 e ABNT NBR 14762, conforme os requisitos de resistência ao fogo, prescritos pela ABNT NBR 14432 ou legislação brasileira vigente.

- Os pilares mistos devem apresentar dupla simetria e seção transversal constante;
- A contribuição do perfil de aço em relação à resistência total do pilar misto deve estar entre 20% e 90%;

- Seções transversais preenchidas com concreto podem ser fabricadas sem a presença de armadura, exceto em situações de incêndio. Para os pilares mistos parcialmente ou totalmente revestidos, a área de seção transversal da armadura longitudinal não deve ser inferior a 0,3% da área do concreto;
- Quando a concretagem for feita com o pilar montado, deve-se garantir que o pilar metálico resiste às cargas aplicadas antes da cura.
- Para seções parcialmente ou totalmente revestidas, é necessário a presença de armaduras longitudinais e transversais para garantir a integridade do concreto. A armadura longitudinal pode ser considerada ou não na resistência e rigidez do pilar misto. O projeto das armaduras deve atender aos requisitos da NBR6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

A sequência executiva de uma obra em estrutura mista de aço e concreto deve ser acompanhada atenciosamente pelo engenheiro calculista e o engenheiro de produção. A resistência final frente às ações horizontais do vento e a estabilidade da estrutura não serão imediatamente atingidas até o endurecimento total do concreto (VASCONCELLOS, 2006).

Há possibilidades de problemas de estabilidade de um edifício se um número elevado de pavimentos for montado sem a respectiva concretagem, além de sobrecarregar os pilares de aço dos primeiros pavimentos. Por essa razão, é prudente limitar o número de pavimentos por etapas de concretagem.

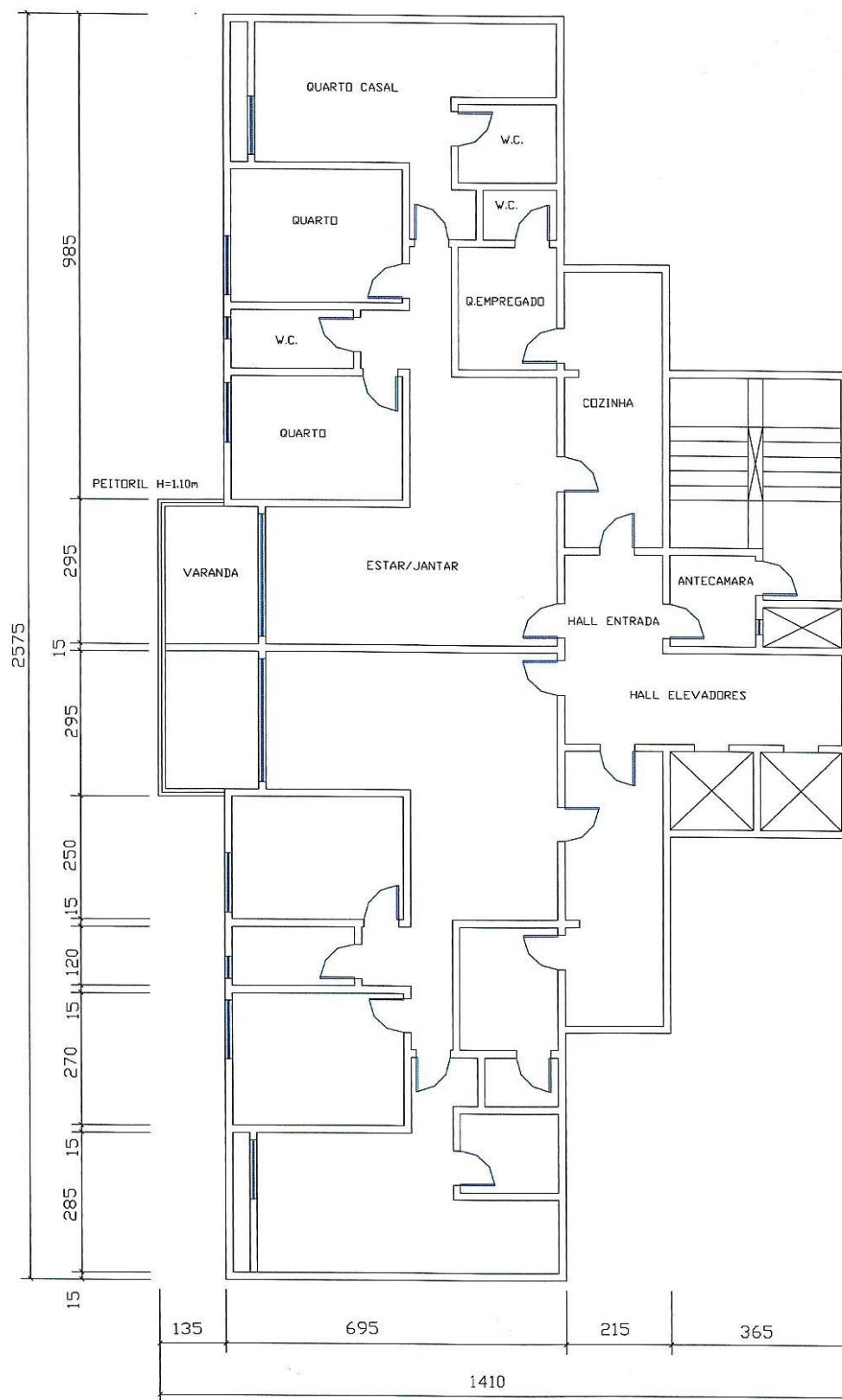
5. Estudo de Caso

Este trabalho desenvolveu uma análise crítica de um edifício-exemplo elaborado por (ALBUQUERQUE, 1998) em concreto armado, e utilizada por (SANTOS, 2010) para o dimensionamento do mesmo considerando sistemas estruturais mistos aço - concreto.

5.1 Dados do Edifício Exemplo

O edifício-exemplo em estudo consiste em uma edificação com dois apartamentos de 105 m² por pavimento. Para fins de simplificação, foi considerado que o edifício possui 20 pavimentos, todos iguais ao tipo, com distância de piso-a-piso de 2,88m, totalizando uma edificação de 57,60m de altura. Apesar de influenciarem consideravelmente na concepção estrutural, não foram considerados os pavimentos de cobertura, mezanino, pilotis e subsolo. A Figura 9 abaixo apresenta a planta baixa do pavimento tipo estudado por (ALBUQUERQUE, 1998).

Figura 9. Planta baixa do pavimento tipo.



Fonte: (ALBUQUERQUE, 1998)

Na Tabela 9 são apresentados os pesos específicos, cargas acidentais e características do vento analisados por (ALBUQUERQUE, 1998).

Tabela 9. Pesos específicos e cargas.

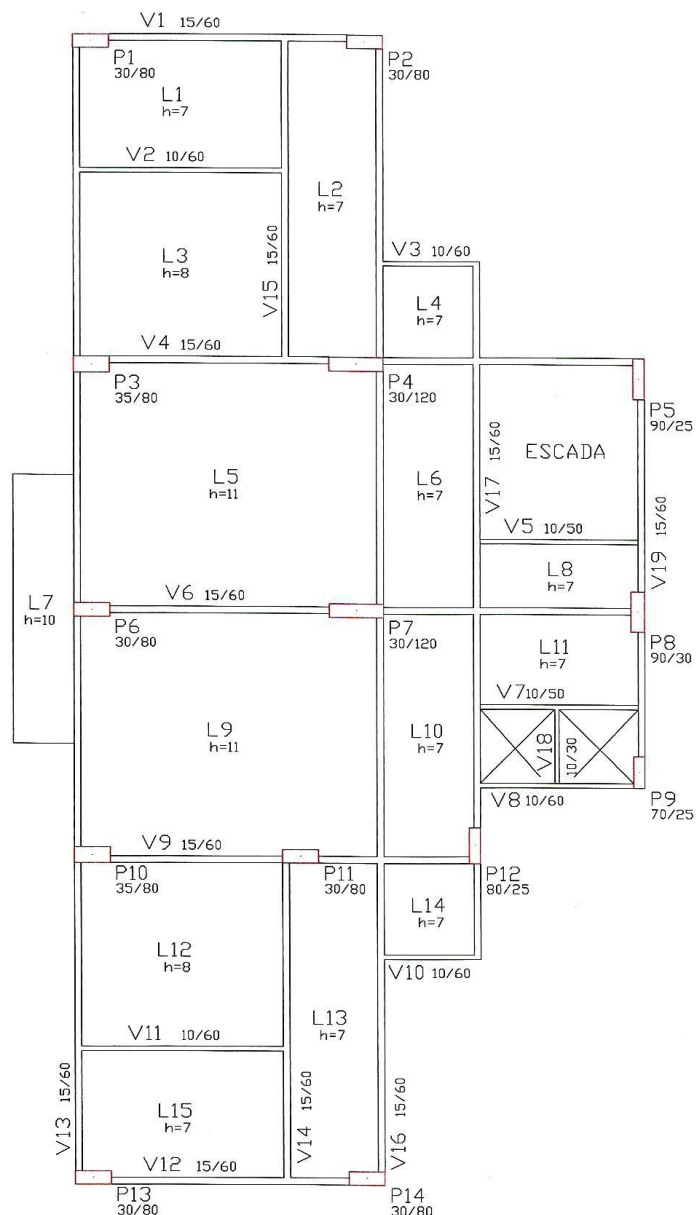
Pesos Específicos	
Blocos cerâmicos	13 kN/m ³
Concreto Armado	25 kN/m ³
Areia com umidade natural	17 kN/m ³
Cargas Acidentais	
Pisos (quartos, sala, copa, cozinha e banheiro)	1,5 kN/m ²
Pisos (dispensa, área de serviço e lavanderia)	2,0 kN/m ²
Escadas sem acesso público	2,5 kN/m ²
Cargas Horizontais	
Parapeitos	0,8 kN/m
Balcões	0,8 kN/m
Cargas Verticais – Mínima	
Parapeitos	2,0 kN/m
Balcões	2,0 kN/m
Revestimentos + Pavimentação	
Carga permanente	1 kN/m ²
Vento	
V ₀ =30m/s (Fortaleza/CE)	S ₁ =1,0
S ₂ =0,92	S ₃ =1,0
L ₁ =25,7m	L ₂ =14,5m
Ca=1,2 (direção Y, dir. principal)	Ca=1,0 (direção X, dir. secundária)

Fonte: (ALBUQUERQUE, 1998)

5.2 Dimensionamento com Estrutura Convencional e Laje Maciça

Entende-se por estrutura convencional aquela em que as lajes se apoiam em vigas no sistema laje-viga-pilar. Devido ao seu elevado peso próprio, lajes maciças são impossibilitadas de vencer grandes vãos. Por isso, tornou-se comum adotar como vão médio econômico de lajes um valor de 3,5m a 5m. A figura abaixo mostra a planta de forma da estrutura convencional com lajes maciças dimensionadas por (ALBUQUERQUE, 1998).

Figura 10. Planta de forma do pavimento tipo



Fonte: ALBUQUERQUE (1999)

Para o estudo em questão, utilizou-se resistência do concreto (f_{ck}) de 30MPa para vigas e pilares e 20MPa para as lajes.

O consumo de materiais considerando a proposta de estrutura convencional estão indicados na Tabela 10:

Tabela 10. Consumo de materiais para estrutura convencional.

Elemento	Volume de Concreto (m ³)	Aço (kg)	Área de forma (m ²)
Lajes	366,00	18.389	4.234,60
Vigas	244,60	36.888	3.535,00
Pilares	206,80	21.777	1.872,00
Total	817,40	77.054,00	9.641,60

Fonte: SANTOS (2010)

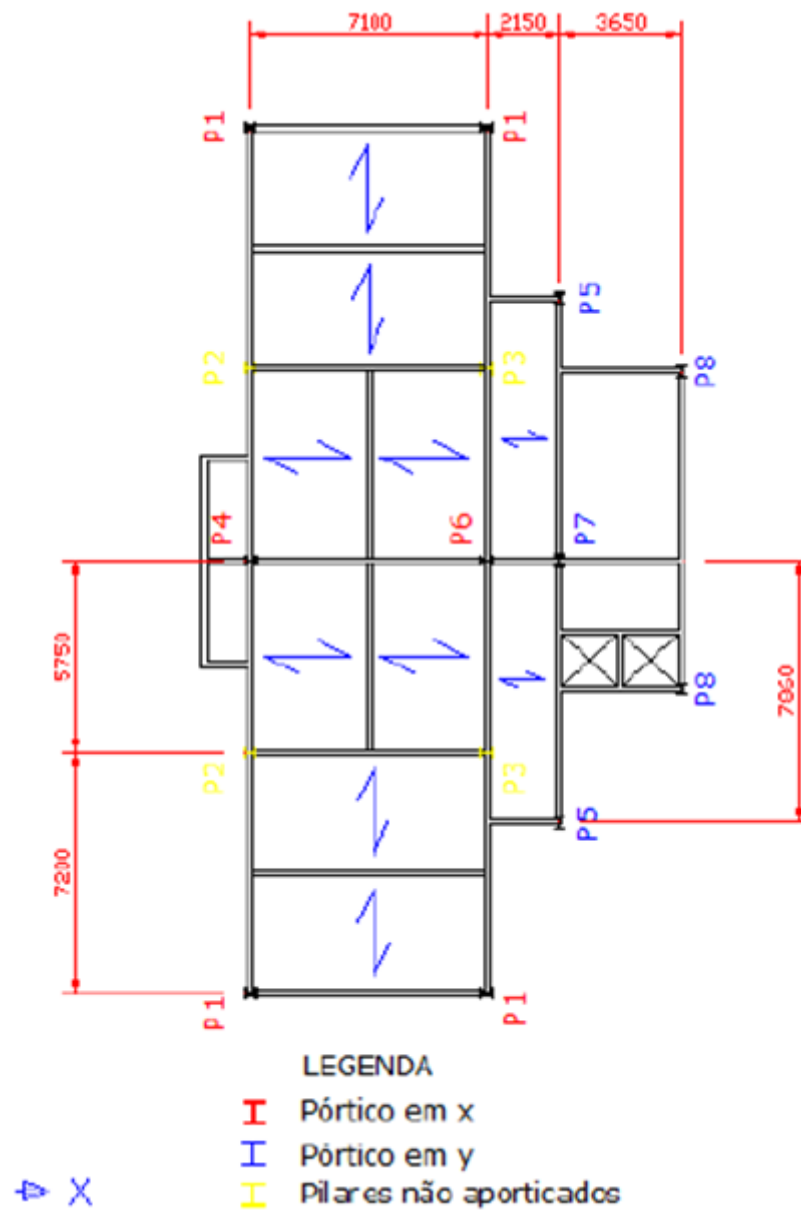
5.3 Dimensionamento em Elementos Mistos de Aço e Concreto

O lançamento estrutural em concreto armado realizado por (ALBUQUERQUE, 1998) foi então analisada e processada por (SANTOS, 2010), considerando sistema estrutural misto aço/concreto. Para o dimensionamento foram adotadas as seguintes hipóteses:

- Todas as bases são rotuladas, exceto as dos pórticos utilizados no travamento da estrutura;
- As ligações também foram rotuladas, excetuando-se os pórticos de travamento.

Figura 11 abaixo apresenta estrutura utilizada para o dimensionamento executado por (SANTOS, 2010):

Figura 11. Planta de estrutura aporticada.



Fonte: (SANTOS, 2010)

Para estabilização lateral da estrutura foi adotado o sistema de pórticos rígidos. As vigas localizadas nos pórticos consideradas como sendo de aço isoladas, e as demais mistas de aço e concreto. Lajes dimensionadas como sendo mistas utilizando a forma de aço incorporada (*steeldeck*). Todos os pilares dimensionados como mistos de aço e concreto (SANTOS, 2010). A Tabela 11 abaixo apresenta o resumo das ações supracitadas:

Tabela 11. Ações consideradas para o dimensionamento.

Ações Consideradas para Dimensionamento do Edifício em Estrutura Mista	
Ações Permanentes	
Peso Próprio - Laje h=16cm	3,02 kN/m ²
Revestimento + Pavimentação	1,0 kN/m ²
Alvenaria e Blocos Cerâmicos	1,25 kN/m ²
Painéis de Vidro com Esquadrias de Alumínio	1,5 kN/m ²
Ações variáveis	
Sobrecarga de Utilização - Cobertura	0,5 kN/m ²
Pisos residenciais 1	1,5 kN/m ²
Pisos residenciais 2	2,0 kN/m ²
Escada sem acesso público	2,5 kN/m ²
Vento	
V ₀ =30m/s (Fortaleza/CE)	S ₁ =1,0
S ₂ =0,92	S ₃ =1,0
L ₁ =25,7m	L ₂ =14,5m
Ca=1,2 (direção Y, dir. principal)	Ca=1,0 (direção X, dir. secundária)

Fonte: (SANTOS, 2010)

Para o dimensionamento dos elementos do edifício-exemplo, foram consideradas ações permanentes, ações variáveis e o vento. Para as ações permanentes foram considerados o peso próprio da laje, revestimento e pavimentação, alvenaria de blocos cerâmicos, painéis de vidro com esquadrias de alumínio.

Nas ações variáveis foram consideradas a sobrecarga de utilização na cobertura, pisos de apartamento em geral, e escada sem acesso público.

Com as ações permanentes, variáveis e o vento definidas, a estrutura do edifício foi processada pelo software (SAP2000), levando em consideração todas as combinações possíveis (SANTOS, 2010).

A partir dos esforços solicitantes obtidos no processamento da estrutura, o dimensionamento dos elementos mistos de aço e concreto, foi executado com o software MATHCAD.

As propriedades geométricas dos elementos de seção mista foram obtidas a partir da homogeneização teórica da seção formada pelo componente de aço e pela largura contribuinte em concreto. Com isso, a região de concreto é transformada em uma área equivalente em aço. Todas as propriedades geométricas são calculadas considerando a seção transformada em aço (SANTOS, 2010).

A Tabela 12 abaixo apresenta os perfis de aço utilizados nas seções mistas dos pilares parcialmente revestidos, dimensionados por (SANTOS, 2010).

Tabela 12. Perfis metálicos

Perfis de Aço Parcialmente Revestidos			
Pilares	Pavimentos	Perfil	Armadura
P1	1º ao 10º	VS 600 x 125	8 Φ 10mm
	11º ao 20º	VS 500 x 86	8 Φ 8mm
P2	1º ao 10º	VS 650 x 143	8 Φ 10mm
	11º ao 20º	VS 500 x 73	8 Φ 8mm
P3	1º ao 10º	VS 750 x 157	8 Φ 12,5mm
	11º ao 20º	VS 600 x 125	8 Φ 10mm
P4	1º ao 10º	VS 800 x 173	8 Φ 12,5mm
	11º ao 20º	VS 500 x 86	8 Φ 8mm
P5	1º ao 10º	VS 650 x 143	8 Φ 10mm
	11º ao 20º	VS 500 x 73	8 Φ 8mm
P6	1º ao 10º	VS 800 x 143	8 Φ 12,5mm
	11º ao 20º	VS 600 x 125	8 Φ 10mm
P7	1º ao 10º	VS 700 x 154	8 Φ 10mm
	11º ao 20º	VS 700 x 105	8 Φ 10mm
P8	1º ao 10º	VS 700 x 154	8 Φ 10mm
	11º ao 20º	VS 600 x 125	8 Φ 10mm

Fonte: SANTOS (2010)

Com os dados obtidos na tabela acima, obteve-se o consumo de aço para os perfis das seções dos pilares mistos parcialmente revestidos.

Tabela 13. Quantidade de aço consumida para pilares mistos

Quantidade (kg) de Aço Utilizada para Pilares Mistos						
Pilares	Pavimentos	Perfil	Peso Unitário (kg/m)	Comprimento Unitário (m)	Quant.	Peso (kg)
P1	1º ao 10º	VS 600 x125	125	30	4	15.000
	11º ao 20º	VS 500 x 86	86	30	4	10.320
P2	1º ao 10º	VS 650 x 143	143	30	2	8.580
	11º ao 20º	VS 500 x 73	73	30	2	4.380
P3	1º ao 10º	VS 750 x 157	157	30	2	9.420
	11º ao 20º	VS 600 x 125	125	30	2	7.500
P4	1º ao 10º	VS 800 x 173	173	30	1	5.190
	11º ao 20º	VS 500 x 86	86	30	1	2.580
P5	1º ao 10º	VS 650 x 143	143	30	2	8.580
	11º ao 20º	VS 500 x 73	73	30	2	4.380
P6	1º ao 10º	VS 800 x 143	143	30	1	4.290
	11º ao 20º	VS 600 x 125	125	30	1	3.750
P7	1º ao 10º	VS 700 x 154	154	30	1	4.620
	11º ao 20º	VS 700 x 105	105	30	1	3.150
P8	1º ao 10º	VS 700 x 154	154	30	2	9.240
	11º ao 20º	VS 600 x 125	125	30	2	7.500
TOTAL						108.480

Fonte: SANTOS (2010)

A Tabela 14 abaixo, apresenta os perfis tanto para as vigas de aço isoladas, quanto para as vigas em aço e concreto (mistas) das regiões não aporticadas e seus respectivos pesos.

Tabela 14. Quantidade de aço consumida para vigas mistas.

Quantidade (kg) de Aço Utilizada para Vigas Isoladas e Mistas					
Vigas	Perfis	Peso Unitário (kg/m)	Comprimento Unitário (m)	Quant.	Peso (kg)
V1	VS-500x61	61	7,1	40	17.324,00
V2	VS-400x32	32	7,1	40	9.088,00
V3	VS-300x26	26	2,15	40	2.236,00
V4	VS-400x38	38	7,1	40	10.792,00
V5	VS-400x31	31	3,65	20	2.263,00
V6	VS-300x33	31	1,35	40	1.674,00
V7	VS-350x64	64	7,1	20	9.088,00
V8	VS-550x26	26	2,15	20	1.118,00
V9	VS-350x31	31	3,65	20	2.263,00
V10	VS-300x33	33	6,2	20	4.092,00
V11	VS-350x32	32	7,2	40	9.216,00
V12	VS-400x32	32	5,75	40	7.360,00
V13	VS-400x32	32	5,75	40	7.360,00
V14	VS-400x35	35	7,2	40	10.080,00
V15	VS-400x35	35	5,75	40	8.050,00
V16	VS-500x75	75	7,86	20	11.790,00
V17	VS-500x75	75	7,86	20	11.790,00
V18	VS-500x75	75	9,68	20	14.520,00
				TOTAL	140.104

Fonte: (SANTOS, 2010)

5.4 Análise Comparativa entre o Sistema Convencional e o Sistema em Elementos Mistos de Aço e Concreto

O consumo dos materiais (aço, concreto e formas) dos sistemas estruturais analisados foram levantados para subsidiar a análise comparativa.

As Tabelas 15 e 16 indicam o consumo dos materiais considerando sistemas mistos aço/concreto e o consumo de materiais para o dimensionamento em estrutura convencional, respectivamente.

Tabela 15. Consumo de materiais para estrutura convencional.

Consumo de Materiais para Estrutura Convencional			
Elemento	Volume de Concreto (m³)	Aço - Armadura (kg)	Área de forma (m²)
Lajes	366,00	18.389	4.234,60
Vigas	244,60	36.888	3.535,00
Pilares	206,80	21.277	1.872,00
Total	817,40	76.554	9.641,60

Fonte: (SANTOS, 2010)

Tabela 16. Consumo de Materiais para o dimensionamento em estrutura mista

Consumo de Materiais para Estrutura Mista					
Elemento	Volume de Concreto (m³)	Aço Estrutural - Perfis (kg)	Steel Deck (kg)	Aço - Armadura (kg)	Área de forma (m²)
Lajes	651,70	0,00	77.831,60	7.873,60	0,00
Vigas	0,00	140.104,00	0,00	0,00	0,00
Pilares	148,69	108.480,00	0,00	4.295,00	0,00
Total	800,39	248.584,00	77.831,60	12.168,60	0,00

Fonte: SANTOS (2010)

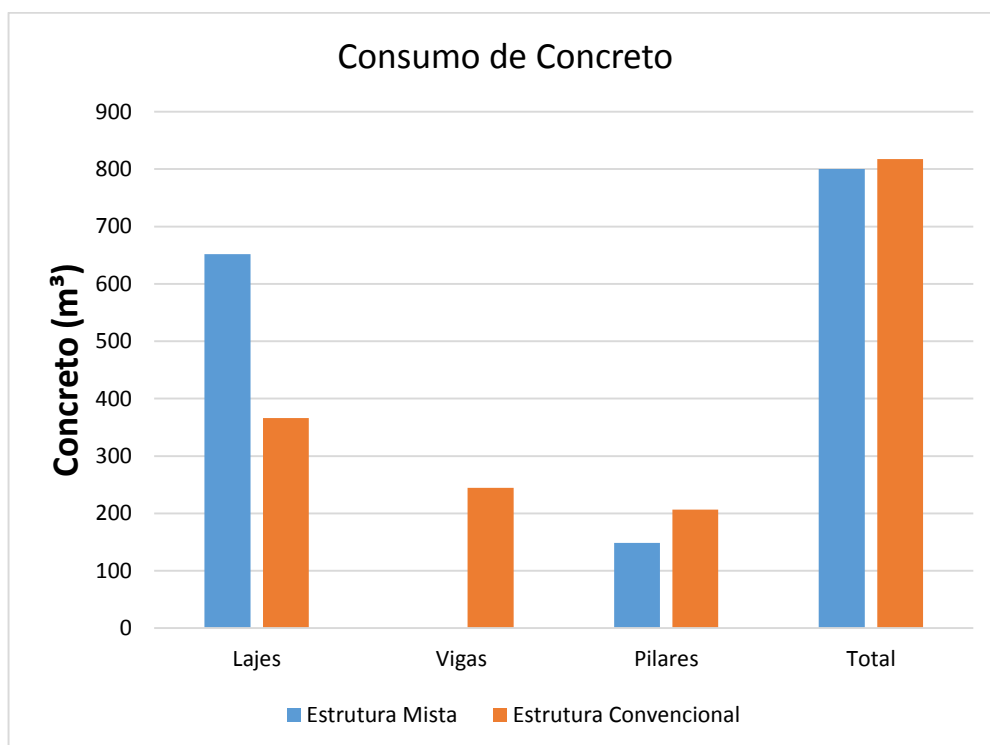
É importante salientar que o consumo de barras de aço (armadura) e volume de concreto nas vigas mistas foram nulos. Isso ocorre devido basicamente a dois fatores: A região de concreto necessária para viga resistir aos esforços está presente na laje. Parte do volume de concreto presente na laje mista contribui efetivamente

para a capacidade de suporte da viga mista, o que garante a não utilização de concreto. A interação entre a viga de aço e a laje em concreto é realizada a partir de conectores de cisalhamento (*stud bolts*). Em estruturas convencionais, essa interação é feita com barras de aço. Por isso, nas vigas mistas dimensionada por (SANTOS, 2010) não apresentam armadura em forma de barras na composição da viga.

5.4.1 Consumo de Concreto

A Figura 12 apresenta o comparativo do consumo de concreto nos elementos estruturais:

Figura 12. Consumo de Concreto



Fonte: (SANTOS, 2010)

O consumo de concreto em estruturas convencionais é ligeiramente superior ao consumo em elementos mistos. Porém, o desperdício relativo ao concreto em obras que adotam o sistema convencional de lajes maciças e os demais elementos em concreto armado pode chegar a 25%, de acordo com (MALITE, 1990). Com isso, o consumo total de concreto nos elementos de estrutura convencional chegaria a

1021,75 m³. Em termos percentuais, o sistema em elementos mistos geraria uma economia de 21,66%; ou 221,36 m³ de concreto.

O maior consumo de concreto na laje do sistema misto não é comum quando se trata de laje *steel deck*. No trabalho de (SANTOS, 2010) a laje é dimensionada com altura igual a 16cm, enquanto nas lajes convencionais as alturas das lajes maciças variam de 7 a 11cm.

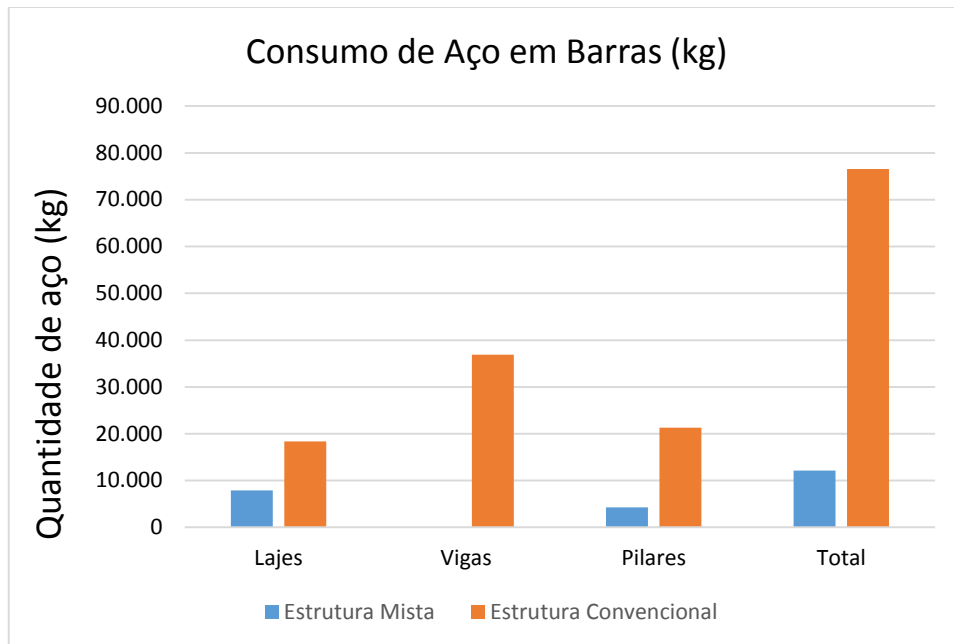
Desconsiderando o desperdício, os volumes de concreto utilizados em ambos sistemas é praticamente o mesmo, o sistema convencional apresenta um consumo de concreto de 2,1% maior, ou seja, 17 m³ a mais. Tal comportamento pode ser justificado em função do modelo de cálculo ou condições de apoio adotados pelo autor.

Porém, a utilização de estrutura mista apresenta outros benefícios tais como o ganho de produtividade observado devido à redução ou ausência de formas e escoramentos.

5.4.2 Consumo de Aço em Barras e Perfis

O consumo de barras de aço em todos os elementos da estrutura dimensionada em sistema misto foi inferior ao consumo em estrutura convencional. A economia das armaduras de aço no sistema misto ficou em aproximadamente 85% em relação ao sistema em concreto armado. A Figura 13 apresenta um comparativo do consumo das armaduras de aço.

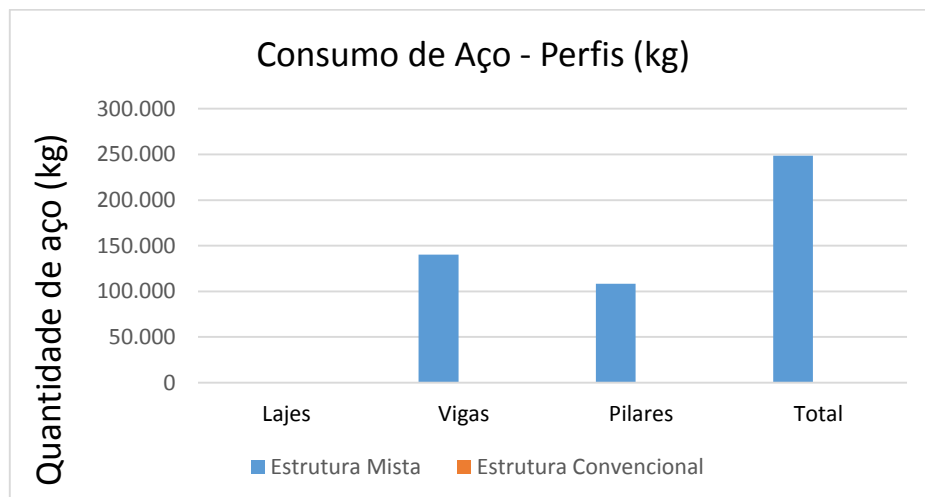
Figura 13. Consumo de aço em barras.



Fonte: SANTOS (2010)

Já o consumo de perfis de aço, é exclusivo do sistema estrutural misto, totalizando em um peso de 248.584kg (248,58t).

Figura 14. Consumo de aço em perfis.



Fonte: (SANTOS, 2010)

No sistema convencional gasta-se um tempo maior para a execução da estrutura em concreto armado quando comparado aos perfis estruturais em aço. Nas vigas, pilares e lajes, é necessário primeiramente executar o escoramento,

confeccionar as formas, montagem das ferragens, para depois iniciar a etapa de concretagem. Utilizando perfis de aço, eles já chegam prontos da indústria, apenas a montagem é feita no local da edificação.

Nos sistemas estruturais mistos aço-concreto apenas a montagem da estrutura (vigas e pilares) é feito no canteiro de obras, o que proporciona considerável redução de tempo de execução quando comparado ao sistema construtivo em concreto armado.

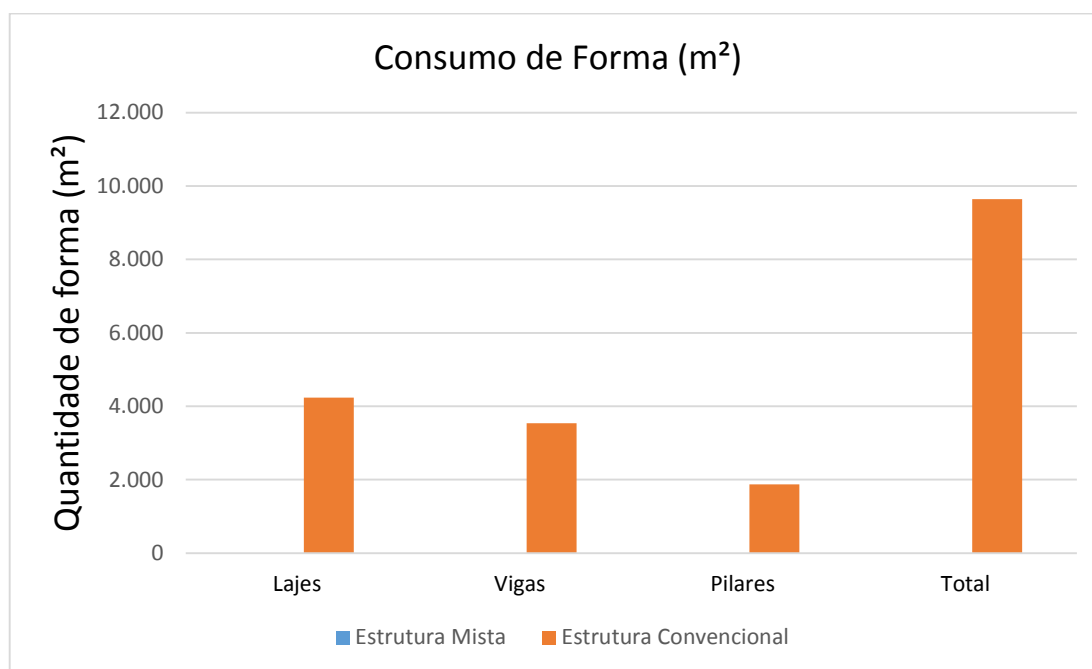
5.4.3 Consumo de Formas

Apenas no sistema convencional houve consumo de formas. No dimensionamento realizado por (SANTOS, 2010), os pilares mistos parcialmente revestidos foram pré-fabricados. Nesse sistema, o perfil I é concretado de um lado na posição horizontal, e quando o concreto atingir a resistência prevista em projeto, o outro lado então é concretado.

Como o edifício-exemplo foi concebido como um sistema misto não escorado, por isso, a utilização de formas e escoramentos para laje e vigas mistas não se justifica. Abaixo a

Figura 15 apresenta o gráfico que elucida o consumo de forma.

Figura 15. Consumo de formas.



Fonte: (SANTOS, 2010)

O consumo de formas no sistema convencional se dá em grande parte nas lajes e vigas, representando cerca de 85% do total consumido (9642 m²).

Para a forma de aço incorporada, o *steel deck*, foram utilizadas 77,8 toneladas de aço.

5.5 Custo da Estrutura

Neste tópico serão abordados aspectos relacionados ao custo da edificação, com base nos custos de insumos e composições de preços praticados em Brasília DF.

5.5.1 Custo da Estrutura – Concreto

De acordo com a referência de Abril de 2014, os valores para o concreto de 30MPa o valor de R\$ 267,35/m³.

A Tabela 17 indica os resultados:

Tabela 17. Custo do m³ de concreto.

Dimensionamento	Volume de Concreto (m ³)	Custo Unitário (R\$)	Custo para Concreto de 30 Mpa
Estrutura Mista	800,39	R\$ 267,35	R\$ 213.984,27
Estrutura Convencional	817,4	R\$ 267,35	R\$ 218.531,89

Fonte: Autor

5.5.2 Custo da Estrutura – Aço em Barras

Para o aço das armaduras, a referência utilizada foi Maio de 2014. As Tabelas 18 e 19 apresentam os resultados:

Tabela 18. Custo de barras de aço.

Dimensionamento	Peso de aço em barras (t)	Custo Unitário (R\$)	Custo para Barras de Aço
Estrutura Mista	12,17	R\$ 2.765,65	R\$ 33.657,96
Estrutura Convencional	76,55	R\$ 2.765,65	R\$ 211.710,51

Fonte: Autor

5.5.3 Custo da Estrutura – Aço em Perfis

Somente no dimensionamento em estrutura mista foi utilizado perfis estruturais metálicos. Foi considerado um valor médio de R\$ 4,54 de aço com pintura galvanizada e conectores.

Tabela 19. Custo de perfis de aço.

Dimensionamento	Peso de perfis de aço (t)	Custo Unitário (R\$)	Custo para Aço - Perfis
Estrutura Mista	248.584,00	R\$ 4,54	R\$ 1.128.571,36
Estrutura Convencional	0,00	R\$ 4,54	R\$ 0,00

Fonte: Autor

5.5.4 Custo da Estrutura – Forma

Para o levantamento de custos para execução de forma foram levantados valores cobrados por três empresas que atuam na área em Brasília. Com referência de Março de 2014, o custo da chapa compensada resinada de 12mm (madeirite plastificado) foi de R\$ 17,35. A utilização de formas esteve presente apenas na execução da estrutura convencional em concreto armado.

Tabela 20. Custo de forma.

Dimensionamento	Área de forma (m ²)	Custo Unitário (R\$/m ²)	Custo Forma
Estrutura Mista	0,00	R\$ 17,35	R\$ 0,00
Estrutura Convencional	9641,60	R\$ 17,35	R\$ 167.281,76

Fonte: Autor

5.5.5 Custo da Estrutura – Steel Deck

O custo unitário por m² de fôrma de aço incorporada em laje (*steel deck*) foi de R\$ 54,00, e o custo total de R\$ 287.580,00.

5.5.6 Custo da Total da Estrutura

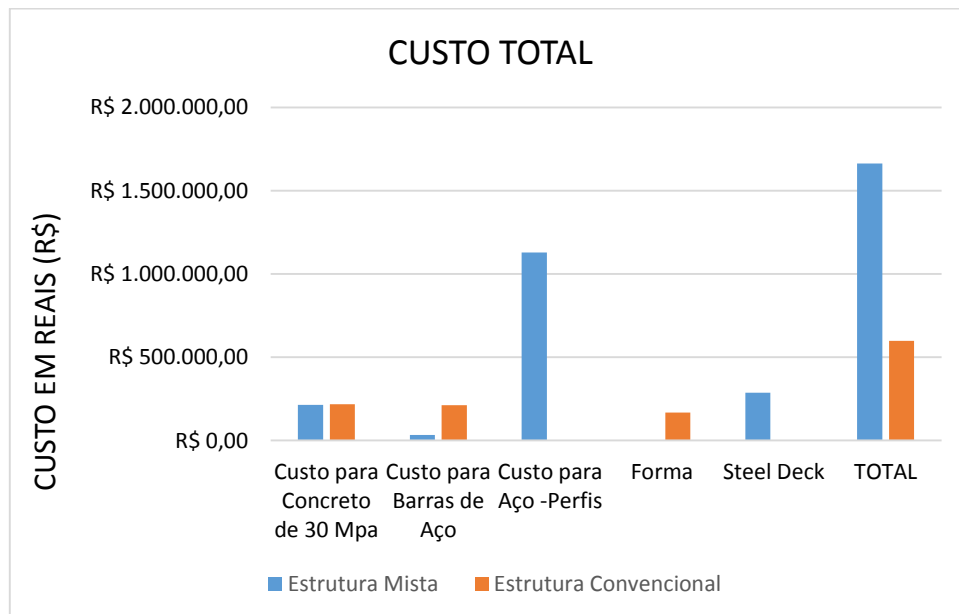
Após coletar os dados relativos aos custos de volume de concreto, perfis de aço, barras de aço, fôrma de aço incorporada (*steel deck*) e formas de madeira, obteve-se ao custo total para cada tipo de sistema estrutural.

A Tabela 21 abaixo e a Figura 16 apresentam de maneira mais clara o resumo dos custos levantados.

Tabela 21. Custo total da estrutura.

Estrutura	Custo para Concreto de 30 Mpa	Custo para Barras de Aço	Custo para Aço - Perfis	Forma	Steel Deck	TOTAL
Estrutura Mista	R\$ 213.984,27	R\$ 33.654,09	R\$ 1.128.571,36	R\$ 0,00	R\$ 287.280,00	R\$ 1.663.489,72
Estrutura Convencional	R\$ 218.531,89	R\$ 211.710,51	R\$ 0,00	R\$ 167.281,76	R\$ 0,00	R\$ 597.524,16

Figura 16. Custo total da estrutura.



Fonte: Autor

Fica evidente que o custo total da estrutura metálica é bem maior que o custo da estrutura de concreto armado.

O custo total da estrutura mista aço/concreto foi maior em 178% quando comparado ao sistema estrutural em concreto armado. Os maiores responsáveis por tornar esse tipo de solução estrutural mais onerosa são os perfis de aço estruturais utilizados no dimensionamento misto.

Apesar de o custo de concreto ser muito próximo nos dois sistemas, de o custo de barras de aço e de formas ser mais elevado no sistema convencional, o que alavancou o custo do da estrutura mista foi o *steel deck* e os perfis de aço estruturais.

Alguns custos não foram levantados durante o estudo comparativo de (SANTOS, 2010): custos de cimbramento da estrutura de concreto armado. Para a forma, apenas o madeirite plastificado foi contabilizado nos custos (caibros, sarrafos, pontaletes não estão orçados).

Não foi levantado o custo de mão-de-obra para a execução dos dois sistemas.

5.5.7 Comparação de Custos

Comparando os custos entre as duas soluções estruturais obtidos por (SANTOS, 2010), com os custos obtidos em 2014 é possível afirmar que o custo final da estrutura em concreto armado apresentou pouca variação. O custo final da estrutura em concreto armado em 2014 é aproximadamente 2,46% mais cara que em 2010.

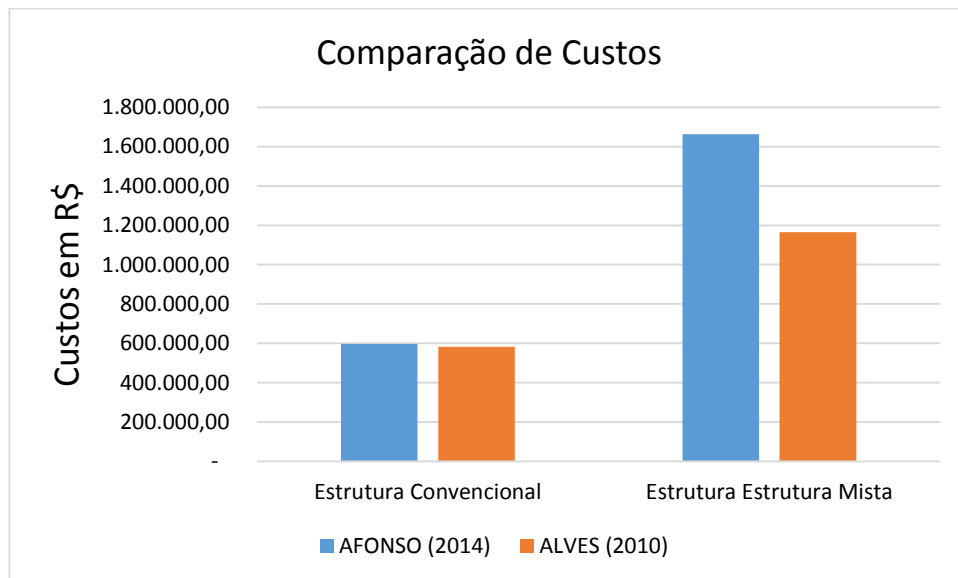
Já na estrutura mista, a diferença de custos é significativa. O custo encontrado de acordo com o mercado em Brasília, no ano de 2014, é cerca de 43% mais caro que o levantamento realizado por (SANTOS, 2010). Abaixo a Tabela 22 e Figura 17 apresentam os dados supracitados.

Tabela 22. Comparação de custos finais.

	Estrutura Convencional	Estrutura Mista
(AFONSO, 2014)	R\$ 597.524,16	R\$ 1.663.489,72
(SANTOS, 2010)	R\$ 583.192,70	R\$ 1.164.729,59

Fonte: Autor

Figura 17. Comparação de custos finais.



Fonte: Autor

6. Considerações Finais

Os sistemas estruturais em concreto armado apresentam geralmente maior número de operários e baixa produtividade, quando comparado aos sistemas estruturais mistos aço/concreto.

As estruturas metálicas apresentam menor peso próprio em relação ao concreto armado, o que implica em fundações mais econômicas e a possibilidade de vencerem vãos maiores. Os pilares metálicos mais esbeltos possibilitam o acréscimo de área útil da edificação, o que é extremamente importante na comercialização de um empreendimento.

O elevado custo total do sistema estrutural misto aço/concreto deu-se devido aos perfis de aço e as fôrmas *steel/ deck*. Entretanto, o sistema estrutural misto possibilita a pré-fabricação de seus elementos (pilares e vigas na forma de perfis metálicos), reduzindo o tempo necessário para a execução desta etapa e da obra como um todo.

A redução da estimativa de custos dos sistemas estruturais mistos aço/concreto pode ser obtido através de considerações de projeto, tais como:

- Cálculo dos esforços considerando a ligação de todos os pórticos engastados;
- Análise dos pórticos considerando vigas mistas aço/concreto contínuas, inclusive com o grau de interação (total ou parcial).
- Análise de alternativas para contraventamento dos pórticos.

Deve-se salientar, porém, que a mão-de-obra utilizada numa estrutura metálica é bem mais especializada, o que eleva o custo referente a esta parcela, que também pode ser diluído devido à redução do prazo de execução.

Observa-se no Brasil uma cultura conservadora em termos de processos construtivos. As novas tecnologias são descartadas por, aparentemente, não possuírem suas técnicas construtiva amplamente conhecidos pelos profissionais do mercado, utilizando-se para tanto a justificativa de elevação dos custos envolvidos.

Contudo, o custo total do empreendimento não é a única variável envolvida nos estudos de viabilidade, fatores tais como o prazo de ocupação, logística de canteiro de obras, precisão construtiva, maior aproveitamento de área e atendimento aos requisitos de sustentabilidade (materiais e processos envolvidos) também são levados em consideração.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 14.323:1999 - Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]. 1999.
- ABNT. **NBR 14.432:2000 - Exigências de resistência ao fogo dos elementos construídos das edificações - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]. 2000.
- ABNT. **NBR 6118:2007 - Projetos de estrutura de concreto – Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]. 2007.
- ABNT. **NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]. 2008.
- ABNT. **NBR 14.762:2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]. 2010.
- ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 97. 1998.
- ALCIDES, P. Portal Metálica. **Portal Metálica**, 2010. Acesso em: 23 Março 2014.
- ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista de aço-concreto**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 277. 2000.
- ANDRADE, P. A. Portal Metálica. **Portal Metálica - Informações e negócios em um clique**, 2012. Acesso em: 10 Maio 2014.
- BELLEI, I. H. Edifícios de múltiplos andares em aço. In: BELLEI, I. H. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. São Paulo : Pini, 2008. p. 558.

FIGUEIREDO, L. M. B. **Projeto e construção de pilares mistos aço-concreto**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 143. 1998.

LEMOINE, B. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **CBCA - Aço Brasil**, 2002. Disponível em: <<http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/downloads/Aco-um-material-de-construcao-ecologica-para-um-desenvolvimento-sustentavel.pdf>>. Acesso em: 3 Abril 2014.

MALITE, M. **Análise do comportamento das vigas mistas de aço-concreto constituídas por perfis de chapa dobrada**. Tese de doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 144. 1990.

MATOS, F. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **CBCA - Aço Brasil**, 2013. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/artigos-tecnicos-ler.php?cod=5851&bsc=>>>. Acesso em: 18 Março 2014.

MENDES, C. L. **Estudo teórico sobre perfis formados a frio em situação de incêndio**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 160. 2004.

PANNONI, F. D. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **CBCA- Aço Brasil**, 2013. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/artigos-tecnicos-ler.php?cod=5999&bsc=>>>. Acesso em: 31 Março 2014.

SALÉS, J. J. **Estudo do projeto e construção de edifícios de andares múltiplos com estruturas de aço**. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 257. 1995.

SANTOS, T. J. D. **Edifícios de múltiplos andares em concreto, aço e em elementos mistos de aço e concreto: Análise comparativa**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 122. 2010.

SILVA, V. P. E. **Prevenção contra indêndio na arquitetura.** Instituto Aço Brasil - Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, p. 72. 2010.

VASCONCELLOS, A. **Caracterização das construções mistas aço/concreto.** Artigo Técnico - Associação Brasileira da Construção Metálica. [S.l.], p. 4. 2006.